前后期饲粮不同粉碎粒度组合对肉鸡生长性能的影响

葛春雨[1] 李军国[1] 于纪宾[1] 于治芹[1] 秦玉昌[2*]

（1.中国农业科学院饲料研究所，北京 100081；2.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，北京 100193）

摘 要：本试验旨在研究不同粉碎粒度对饲料加工质量的影响以及肉鸡不同粉碎粒度饲粮对不同生长阶段肉鸡生长性能的影响。选用 864 只 1 日龄白羽爱拔益加（AA）肉鸡，随机分为 6 组，每组 8 个重复，每个重复 18 只鸡，进行为期 42 d 的饲养试验，分为前期（1~21 日龄）和后期（22~42 日龄）2 个阶段。前、后期饲粮分别采用 1.5、2.0 和 2.5 mm 筛片孔径进行粉碎，每个筛片孔径设 4 个重复。前期设 3 个组，1.5 mm 组设 24 个重复，2.0 mm 组设 16 个重复，2.5 mm 组设 8 个重复；后期设 6 个组，将前期 1.5 mm 组平均分为 3 个组，2.0 mm 组平均分为 2 个组，2.5 mm 组不变，每组 8 个重复。结果表明：1）饲料的几何平均粒径随着筛片孔径的增加而增加，其中 2.5 mm 组的几何平均粒径显著大于 1.5 和 2.0 mm 组（P<0.05）；颗粒耐久性指数（PDI）、颗粒硬度和淀粉糊化度随着筛片孔径的增加而降低，其中 1.5 mm 组的 PDI 和颗粒硬度显著大于 2.0 和 2.5 mm 组（P<0.05）；随着筛片孔径的增加，各组饲料的粗蛋白质体外消化率无显著差异（P>0.05）。2）1~21 日龄时，2.0 mm 组的 21 日龄平均体重、平均日采食量和平均日增重均为最高。22~42 日龄时，前期 2.0 mm、后期 2.5 mm 组的 42 日龄平均体重和平均日增重最高，料重比最低；前期 1.5 mm、后期 2.5 mm 组的平均日采食量最高。综合以上结果，前期 2.0 mm、后期 2.5 mm 组的生长性能最好。所以，肉鸡前期饲粮采用筛片孔径为 2.0 mm、后期饲粮采用筛片孔径为 2.5 mm 进行粉碎，生长性能最佳。

关键词：粉碎粒度；肉鸡；饲料加工质量；生长性能

中图分类号：S816.9

收稿日期：2017-05-12

基金项目：北京市家禽产业创新团队项目（BAIC04-2017）；公益性行业（农业）科研专项“饲料高效低耗加工技术研究与示范”（201203015）

作者简介：葛春雨（1994—），女，内蒙古呼伦贝尔人，硕士研究生，从事饲料加工与动物营养研究。E-mail: gechunyucaas@163.com

*通信作者：秦玉昌，研究员，博士生导师，E-mail: qinyuchang@caas.cn

粉碎粒度是饲料加工工艺中的一项重要指标，粉碎粒度的大小应根据饲料种类、饲喂动物种类、生长阶段和工艺要求而定[1]，适宜的粉碎粒度不仅可以提高颗粒饲料的质量、饲料转化率和动物的生产性能，还能减少损耗、提高生产效率[2-3]。Nir 等[4]研究报道，肉鸡饲粮中谷物的粉碎粒度为中粒度（700~900 μm）时，肉鸡的生长性能最佳。Ribero 等[5]研究显示，21~42 日龄饲粮的粉碎粒度由 337 μm 增加到 868 μm，肉鸡的体重随之增加；然而当饲粮的粉碎粒度增加到 936 μm 时，肉鸡的采食量和日增重呈下降趋势。也有报道认为，饲粮的粉碎粒度从 900 μm 增加到 1 470~1 750 μm，肉鸡的日增重及饲料转化率显著降低[6]。因此，饲粮的粉碎粒度过大会使肉鸡的生长性能降低。然而，以上研究主要集中在肉鸡整个生长阶段采用一种粉碎粒度的饲粮，而有关不同生长阶段肉鸡采用不同粉碎粒度饲粮的组合研究较少。本试验通过研究在肉鸡的不同生长阶段采用不同粉碎粒度饲粮对肉鸡生长性能的影响，得出不同生长阶段肉鸡饲粮的最佳粉碎粒度，供饲料生产企业参考。

1 材料与方法

1.1 试验动物与试验设计

试验在中国农业科学院南口养殖基地进行，采用单因素试验设计，选用 864 只 1 日龄白羽爱拔益加（AA）肉鸡，初始体重为（48.00±0.05） g，按照性别比例一致原则随机分为 6 组，每组 8 个重复，每个重复 18 只鸡，进行为期 42 d 的饲养试验，分为前期（1~21 日龄）和后期（22~42 日龄）2 个阶段。前期和后期饲粮分别采用 1.5、2.0 和 2.5 mm 筛片孔径进行粉碎，为了实现前后期饲粮的不同粉碎粒度组合，每个筛片孔径设 4 个重复。前期设 3 个组，1.5 mm 组设 24 个重复，2.0 mm 组设 16 个重复，2.5 mm 组设 8 个重复；后期设 6 个组，将前期 1.5 mm 组平均分为 3 个组，2.0 mm 组平均分为 2 个组，2.5 mm 组不变，每组 8 个重复。前期饲喂粉碎料，后期饲喂 3.0 mm 的颗粒料。颗粒料加工条件为环模孔径 3.0 mm、长径比 10：1、调质温度 80 ℃。采用单层笼养的饲养方式。

1.2 试验饲粮

试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets（air-dry basis） %

项目 Items	1~21日龄 1 to 21 days of age	22~42日龄 22 to 42 days of age

原料 Ingredients		
玉米 Corn	56.40	59.43
豆粕 Soybean meal	31.16	26.14
菜籽粕 Rapeseed meal	3.00	4.00
棉籽粕 Cottonseed meal	2.00	2.50
大豆油 Soybean oil	2.75	3.70
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.81	1.51
石粉 Limestone	1.08	1.01
食盐 NaCl	0.35	0.35
DL–蛋氨酸 *DL*-Met	0.21	0.12
L–赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys·HCl	0.14	0.14
预混料 premix[1)]	1.00	1.00
氯化胆碱 Choline chloride（50%）	0.10	0.10
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 ME/(MJ/Kg)	12.12	12.54
粗蛋白质 CP	20.37	18.98
钙 Ca	1.00	0.90
总磷 TP	0.71	0.65
有效磷 AP	0.45	0.40
赖氨酸 Lys	1.10	1.00
蛋氨酸 Met	0.49	0.39
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.81	0.69

[1)]预混料为每千克 1~21 日龄饲粮提供 Premix provided the following per kg of diet for 1 to 21 days of age：VA 10 000 IU，VD_3 1 000 IU，VE 20 IU，VK_3 0.5 mg，VB_1 2.0 mg，VB_2 8.0 mg，泛酸 pantothcnic acid 10.0 mg，烟酸 niacin 35.0 mg，VB_6 3.5 mg，生物素 biotin 0.05 mg，叶酸 folic acid 0.55 mg，VB_{12} 0.01 mg，胆碱 choline 1 300 mg，Fe (as ferrous sulfate) 100 mg，

Cu (as copper sulfate) 8.0 mg，Zn (as zinc sulfate) 100 mg，Mn (as manganese sulfate) 120 mg，I (as potassium iodide) 0.7 mg，Se (as sodium selenite) 0.3 mg，黄霉素 flavomycin 6 mg，盐霉素 salinomycin 70 mg。

预混料为每千克 22~42 日龄饲粮提供 Premix provided the following per kg of diet for 22 to 42 days of age：VA 8 000 IU，VD_3 750 IU，VE 15 IU，VK_3 0.5 mg，VB_1 2.0 mg，VB_2 5.0 mg，泛酸 pantothcnic acid 10.0 mg，烟酸 niacin 30. 0 mg，VB_6 3.5mg，生物素 biotin 0.05 mg，叶酸 folic acid 0.55 mg，VB_{12} 0.01 mg，胆碱 choline 1 000 mg，Fe (as ferrous sulfate) 80 mg，Cu (as copper sulfate) 8.0 mg，Zn (as zinc sulfate) 80 mg，Mn (as manganese sulfate) 100 mg，I (as potassium iodide) 0.7 mg，Se (as sodium selenite) 0.3 mg，黄霉素 flavomycin 4 mg，盐霉素 salinomycin 50 mg。

2)粗蛋白质为实测值，其他营养水平为计算值。CP was a measured value, and the other nutrient levels were calculated values.

1.3 饲养管理

饲养管理参照 AA 肉鸡的饲养管理手册进行，试验期间做好光照、温度的控制，保持良好的通风，定期消毒、清粪和打扫鸡舍，按照免疫程序做好疫苗的免疫，观察鸡只的状况，做好死淘记录，自由采食，自由饮水，做好饲料采食记录。

1.4 指标检测与方法

1.4.1 粉碎粒度

每组在每个取样点取样 3 次，饲料样品的几何平均粒径的检测采用 GB/T 6971—2007《饲料粉碎机试验方法》[7]中 14 层筛分法。

1.4.2 颗粒硬度

饲料颗粒硬度的检测参照《饲粮检验化验员》[8]中颗粒饲粮硬度的测定方法。

1.4.3 颗粒耐久性指数（PDI）

将 500 g 已过筛除去细粉的饲料样品放进颗粒耐久性测试装置中翻转 10 min，取出样品，过筛，称量剩余饲料样品的重量，按下列公式计算 PDI[9]：

PDI（%）=100×翻转后样品重量/翻转前样品重量。

1.4.4 淀粉糊化度

饲料样品淀粉糊化度的检测采用简易酶法[10]。

1.4.5　粗蛋白质体外消化率

饲料样品粗蛋白质含量采用凯氏定氮法测定[11]。

粗蛋白质体外消化率参照王卫国等[12]方法测定。

1.4.6　生长性能

分别于 20 和 41 日龄早上开始控料，自由饮水，使试验鸡空腹 24 h，于 21 和 42 日龄早上逐只称重，以重复为单位计算各组试验鸡的平均体重。准确记录每天耗料量，出现死鸡时结料称重，计算各阶段总耗料量。

平均日采食量[ADFI，g]=总耗料量/(只数×天数)；

平均日增重[ADG，g]=总增重/(只数×天数)；

料重比（F/G）=总耗料量/总增重。

1.5　数据处理

试验数据以“平均值±标准差”表示，所有数据用 SPSS 软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），显著者用 Duncan 氏法进行多重比较，以 $P<0.05$ 为差异显著。饲料加工质量中筛片孔径间进行差异性检验；肉鸡生长性能中前期和后期分别进行组间差异性检验。

2　结果与分析

2.1　粉碎粒度对饲料加工质量的影响

粉碎粒度对饲料的几何平均粒径、粗蛋白质体外消化率、颗粒硬度、PDI 和淀粉糊化度的影响见表 2。由表可知，饲料的几何平均粒径随着筛片孔径的增加而增加，其中 2.5 mm 组的几何平均粒径显著大于 1.5 和 2.0 mm 组（$P<0.05$），1.5 mm 组最低。随着筛片孔径的增加，各组饲料的粗蛋白质体外消化率无显著差异（$P>0.05$）。饲料的 PDI 随着筛片孔径的增加而降低，其中 1.5 mm 组的 PDI 显著大于 2.0 和 2.5 mm 组（$P<0.05$），说明粉碎粒度越小越有利于颗粒的成型，粉化率也就越低。饲料的颗粒硬度随着筛片孔径的增加而降低，1.5 mm 组的颗粒硬度显著大于 2.0 和 2.5 mm 组（$P<0.05$）。随着筛片孔径的增加，饲料的淀粉糊化度逐渐降低，1~21 日龄饲粮 1.5 和 2.0 mm 组的淀粉糊化度显著大于 2.5 mm 组（$P<0.05$），22~42 日龄饲粮各组间无显著差异（$P>0.05$），说明粉碎粒度越小越有利于淀粉的糊化。

表 2　粉碎粒度对饲料加工质量的影响

Table 2　Effects of particle size on feed processing quality

项目 Items	筛片孔径 Mesh size of screen/mm 1.5	 2.0	 2.5
1~21 日龄　1 to 21 days of age			
几何平均粒径　Geometric mean particle size/μm	347.00±1.59^{a}	367.48±1.62^{b}	427.17±1.71^{c}
粗蛋白质体外消化率　CP digestibility *in vitro*/%	79.21±0.38	79.43±0.78	80.34±0.24
颗粒硬度　Particle hardness/g	2 109.84±219.2^{B}	1 769.99±221.70^{A}	1 657.01±143.30^{A}
颗粒耐久性指数　PDI/%	97.25±0.01^{b}	96.15±0.24^{a}	95.92±0.06^{a}
淀粉糊化度　Starch gelatinization degree/%	30.05±0.40^{b}	28.47±0.06^{b}	24.91±1.44^{a}
22~42 日龄　22 to 22 days of age			
几何平均粒径　Geometric mean particle size/μm	354.33±1.60^{a}	383.00±1.64^{b}	430.33 ±1.72^{c}
粗蛋白质体外消化率　CP digestibility *in vitro*/%	80.91±0.11	81.85±0.21	82.07±0.40
颗粒硬度　Particle hardness/g	1 117.54±158.80^{c}	952.67±206.50^{b}	934.89±106.70^{a}
颗粒耐久性指数　PDI/%	94.57±0.04^{c}	93.15±0.07^{b}	93.74±0.03^{a}
淀粉糊化度　Starch gelatinization degree/%	34.58±6.12	32.44±1.85	27.27±7.11

同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)。下表同。

In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P<0.01). The same as below.

2.2　粉碎粒度对肉鸡生长性能的影响

不同粉碎粒度对肉鸡前期生长性能的影响见表 3。由表可知，2.0 mm 组的 21 日龄平均体重显著大于 2.5 和 1.5 mm 组（P<0.05），2.5 mm 组显著大于 1.5 mm 组（P<0.05）。2.0 mm 组的平均日采食量显著大于 2.5 mm 组（P<0.05）。2.0 mm 组的平均日增重最高，2.5 mm 组次之，1.5 mm 组最低，各组之间无显著差异(P>0.05)。2.5 mm 组的料重比显著小于 2.0 mm 和 1.5 mm 组(P<0.05)。

表 3　不同粉碎粒度对肉鸡前期(1~21 日龄)生长性能的影响

Table 3　Effects of different particle sizes on growth performance of broilers in early period from 1 to 21 days of age

项目 Items	筛片孔径 Mesh size of screen/mm		
	1.5	2.0	2.5
21 日龄平均体重 ABW at 21 days of age/g	835.44±36.14^{a}	858.23±24.98^{c}	853.07±22.80^{b}
平均日采食量 ADFI/g	56.72±1.93^{ab}	58.01±1.52^{b}	56.00±1.64^{a}
平均日增重 ADG/g	39.78±1.72	40.96±1.19	40.87±1.08
料重比 F/G	1.43±0.04^{b}	1.42±0.02^{b}	1.37±0.02^{a}

不同粉碎粒度对肉鸡后期生长性能的影响见表 4。由表可知，各组的生长性能指标无显著差异(P>0.05)。从趋势来看，前期 2.0 mm、后期 2.5 mm 组的 42 日龄平均体重最高，前期 1.5 mm、后期 2.5 mm 组次之，前期 2.0 mm、后期 2.0 mm 组最低；前期 1.5 mm、后期 2.5 mm 组的平均日采食量最高，前期 2.0 mm、后期 2.5 mm 组次之，前期 2.0 mm、后期 2.0 mm 组最低；前期 2.0 mm、后期 2.5 mm 组的平均日增重最高，前期 2.0 mm、后期 2.0 mm 组最低；前期 2.0 mm、后期 2.5 mm 组的料重比最低，前期 1.5 mm、后期 2.5 mm 组最高。综合以上结果，前期 2.0 mm、后期 2.5 mm 组的肉鸡生长性能最好，饲料转化效率最高。

表 4　不同粉碎粒度对肉鸡后期(22~42 日龄)生长性能的影响

Table 4　Effects of different particle sizes on growth performance of broilers in later period from 22 to 42 days of age

项目 Items		筛片孔径 Mesh size of screen/mm					
	前期 Early period	1.5			2.0		2.5
	后期 Later period	1.5	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5
42 日龄平均体重 ABW		2 405.75±70.76	2 387.75±81.89	2 423.49±59.51	2 377.42±82.33	2 460.91±36.96	2 415.74±60.91

at 42 days of age/g						
平均日采食量 ADFI/g	169.43±5.30	169.62±6.28	175.50±6.24	167.11±5.59	171.12±8.00	169.51±6.02
平均日增重 ADG/g	74.48±3.90	73.07±4.25	73.53±3.10	71.73±3.21	75.29±2.71	73.49±2.61
料重比 F/G	2.28±0.13	2.33±0.16	2.39±0.11	2.33±0.05	2.27±0.11	2.31±0.06

不同粉碎粒度对肉鸡全期(1~42 日龄)生长性能的影响见表 5。由表可知，各组的生长性能指标无显著差异(P>0.05)。从趋势来看，前期 1.5 mm、后期 2.5 mm 组的平均日采食量最高，前期 2.0 mm、后期 2.5 mm 组次之，前期 2.0 mm、后期 2.0 mm 组最低；前期 2.0 mm、后期 2.5 mm 组的平均日增重最高，前期 1.5 mm、后期 2.5 mm 组次之，前期 2.0 mm、后期 2.0 mm 组最低；前期 1.5 mm、后期 1.5 mm，前期 2.0 mm、后期 2.5 mm 和前期 2.5 mm、后期 2.5 mm 组的料重比最低，前期 1.5 mm、后期 2.5 mm 组最高。综合以上结果，前期 2.0 mm、后期 2.5 mm 组的生长性能最好，所以肉鸡前期饲粮采用筛片孔径为 2.0 mm、后期饲粮采用筛片孔径为 2.5 mm 进行粉碎，生长性能较好。

表 5　不同粉碎粒度对肉鸡全期(1~42 日龄)生长性能的影响

Table 5　Effects of different particle sizes on growth performance of broilers in whole period from 1 to 42 days of age

项目 Items	筛片孔径 Mesh size of screen/mm					
前期 Early period	1.5			2.0		2.5
后期 Later period	1.5	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5
末重 Final body weight/g	2 405.75±70.76	2 387.75±81.89	2 423.49±59.51	2 377.42±82.33	2 460.91±36.96	2 415.74±60.91
平均日采食量 ADFI/g	111.99±3.59	112.37±4.26	115.76±3.48	111.57±3.67	114.86±3.92	112.07±3.59
平均日增重 ADG/g	55.88±1.95	55.57±2.05	56.30±1.40	55.27±1.62	57.28±1.71	55.80±1.92
料重比 F/G	2.01±0.07	2.02±0.09	2.06±0.04	2.02±0.04	2.01±0.08	2.01±0.05
死亡率 Mortality/%	2.78	3.47	6.94	3.47	2.08	1.39

3　讨　论

3.1 粉碎粒度对饲料加工质量的影响

参与饲料制粒加工的各个组分自身的粒度分布对于制粒质量具有重要影响。在调质制粒系统中，原料的粉碎粒度对制粒效果的影响占 15%~20%。王卫国等[12]使用 9FQ-25 型锤片式粉碎机在 5 种筛片孔径(4.0、2.5、1.5、1.0 和 0.6 mm)下粉碎玉米和豆粕等 5 种原料，研究发现粉碎物的对数几何平均粒度随筛片孔径的减小而降低。本试验采用 1.5、2.0 和 2.5 mm 3 种筛片孔径，随着筛片孔径的增加，饲料的几何平均粒径增加，这与王卫国等[12]研究结果相一致。李忠平[13]研究表明，玉米在 400、600、800 和 1 000 μm 4 个不同粉碎粒度下的 PDI 分别为 86.4%、82.4%、79.4%和 78.8%，表明饲料的 PDI 随原料粉碎粒度的减小而增加。谢正军等[14]研究表明，在 356、397 和 561 μm 3 个粉碎粒度下颗粒饲料对应的粉化率和颗粒硬度分别为 3.46%、6.25%、9.73%和 4.52、3.81、2.76 kg，这与李忠平[13]的结论相似，说明颗粒硬度也随粉碎粒度的减小而增加。本试验研究表明，随着粉碎粒度的增加，饲料的颗粒硬度和 PDI 降低，这与李忠平[13]和谢正军等[14]的研究相一致，可能是因为粉碎过粗导致颗粒表面产生裂痕，使颗粒耐久性下降，硬度降低。研究表明，饲料粉碎粒度由 600 μm 下降到 100 μm 以下时，其对应的淀粉糊化度由 44%升高到 56%，在相同的调质条件下粉碎粒度越小，调质效果越好，淀粉糊化度越高[15]，与本试验研究结果相一致。这是由于粉碎粒度越小，饲料表面积越大，在调质过程中与蒸汽接触越充分，从而使热量和水分传递通畅，糊化效果好，制粒也易成型[16]。王卫国等[17]研究了不同原料的不同粉碎粒度对其蛋白质体外消化率的影响，结果表明所有试验原料的蛋白质体外消化率都随粉碎粒度的减小而增加。程译锋等[18]研究了鲤鱼饲料粉碎粒度对蛋白质体外消化率的影响，结果显示无论是粉碎后、调质后还是制粒后其蛋白质体外消化率都随粉碎粒度的减小而增加。但本试验研究表明，随着粉碎粒度的增加，粗蛋白质体外消化率无显著变化。原因可能是本试验采用的筛片孔径在 1.5~2.5 mm，饲料粉碎粒度变化幅度不大，在此范围内饲料与酶接触面积差异不大，所以随着粉碎粒度的增加粗蛋白质体外消化率无显著变化。

3.2 粉碎粒度对肉鸡生长性能的影响

粉碎粒度的大小对肉鸡的生长性能有着直接影响，随着粉碎粒度的减小，饲料表面积增加，饲料中营养成分与消化酶的接触面积增加，从而提高饲料的消化吸收效率。然而，粉碎粒度过小会使粉碎能耗增加，过小的粒度会使饲料适口性变差，还会对动物的肠胃产生不利

影响，甚至发生消化道溃疡等疾病[19]。Rennce 等[20]报道认为，给肉鸡饲喂颗粒饲料时，玉米的粉碎粒度由 1 024 μm 下降到 910 μm，可提高饲料转化率。本试验研究表明，1~21 日龄肉鸡饲粮采用 2.0 mm 筛片孔径（几何平均粒径为 367.48 μm）粉碎，21 日龄平均体重、平均日采食量和日增重均为最高。这可能是由于过大的粉碎粒度会影响幼龄禽类的生长性能，饲料通过肌胃速度较慢，而雏鸡的肌胃尚未发育完善，不能破碎较大粒度的饲料，且较大粉碎粒度饲料与消化酶接触不充分，从而使消化率降低；过小的粒度会使饲料适口性降低，从而导致采食量减少，影响肉鸡的生长性能。研究表明随着肉鸡日龄的增加粉碎粒度可以相应增加[6]。Ribero 等[5]研究显示，21~42 日龄肉鸡饲粮的粉碎粒度由 337 μm 增加到 868 μm，肉鸡的体重随饲粮粉碎粒度的增加而增加。本试验研究表明，22~42 日龄肉鸡饲粮采用 2.5 mm 的筛片孔径（几何平均粒径为 427.17 μm）粉碎，肉鸡的生长性能较好，与 Ribero 等[5]研究结果相一致。这可能是由于粉碎粒度较大的饲粮有利于肉鸡消化道的发育[21]，消化道的发育良好意味着饲粮可以在前消化道保留较长时间，增加胃肠蠕动，提高消化酶作用。

4 结 论

① 随着筛片孔径的增加，饲料的粉碎粒度增加，颗粒硬度、PDI 和淀粉糊化度降低，粗蛋白质体外消化率无显著变化。

② 综合考虑饲料加工质量和肉鸡生长性能结果，建议肉鸡饲粮在 1~21 日龄时采用 2.0 mm（几何平均粒径 367.48 μm）筛片孔径、22~42 日龄时采用 2.5 mm（几何平均粒径 427.17 μm）筛片孔径进行粉碎。

参考文献：

[1] 陈道仁.饲料粉碎粒度对饲料品质的影响[J].湖南饲料,2002(2):30–31.

[2] 王卫国.饲料粉碎粒度最新研究进展[J].粮食与饲料工业,2001(11):16–19.

[3] 王卫国.饲料粉碎粒度对营养价值·动物生产性能的影响及粉碎成本的控制[J].饲料工业,1999(10):9–13.

[4] NIR L,HILLEL R,PTICHI I,et al. Effect of particle size on performance:3.grinding pelleting interactions[J].Poultry Science,1995,74(5):771–783.

[5] RIBERO A M L,MAGRO N,PENZ AM.Corn particle size on broiler grower diets and its effect on performance and metabolism[J].Revista Brasileira de Ciência Avicola,2002,4(1):47–53.

[6] 张现玲,段海涛,倪海球,等.调质温度和粉碎粒度对肉鸡生长性能及养分表观利用率的影响[J].动物营养学报,2015,27(7):2052–2059.

[7] 中国机械工业联合会.GB/T 6971–2007 饲料粉碎机试验方法[S].北京:中国标准出版社,2008.

[8] 顾君华.饲料检验化验员[M].北京:中国农业出版社，2010:89–90.

[9] 韩广振.颗粒饲料耐久性指数测试仪及其在饲料品质检测中的应用[J].饲料与畜牧:新饲料,2011(3):26–30

[10] 熊易强.饲料淀粉糊化度(熟化度)的测定[J].饲料工业,2000,21(3):30–31.

[11] 全国饲料工业标准化技术委员会.GB/T 6432—1994 饲料中粗蛋白质测定方法[S].北京:中国标准出版社.1994.

[12] 王卫国,付旺宁,黄吉新,等.饲料粉碎粒度与能耗及蛋白质体外蛋白质体外消化率的研究[J].饲料工业,2001,22(10):33–37.

[13] 李忠平.粉碎粒度对饲料加工生产性能的影响[J].饲料工业,2001,22(4):5–7.

[14] 谢正军,易炳权.蒸汽与调质[J].中国饲料,2002(11):26–27,29.

[15] 段海涛,秦玉昌,于纪宾,等.粉碎粒度对生长猪颗粒饲料加工质量及其生长性能的影响[J].动物营养学报,2015,(07):2038–2043.

[16] 张亮,杨在宾,杨维仁,等.制粒温度和粉碎粒度对颗粒饲料品质的影响[J].饲料工业,2013,34(23):25–29.

[17] 王卫国,李石强,张磊,等.六种饲料原料粉碎粒度与蛋白质溶解度关系研究[J].饲料工业,2002,23(5):6–8.

[18] 程译锋,袁信华,过世东.加工对饲料蛋白质体外消化率和糊化度的影响[J].中国粮油学报,2009,24(2):125–128.

[19] 吕明斌,燕磊,安沙,等.饲料粉碎粒度和调质温度对肉鸡养分消化率及生长性能的影响[J].动物营养学报,2014,26(10):3122–3128.

[20] RENNCE F N,LOTT B D,DEATON J W.The effects of hammer mill screen size on ground corn particle size,pellet durability,and broiler performance[J].Poultry Science,1986,65(7):1257–1261.

[21] 张惠玲,ZIGGERS D.饲料颗粒大小对蛋鸡的重要性[J].国外畜牧学,1999(5):27–28.

Effects of Different Diet Particle Sizes Combination on Growth Performance of Broilers in Early and Later Period

GE Chunyu[1] LI Junguo[1] YU Jibin[1] YU Zhiqin[1] QIN Yuchang[2*]

（1. *Feed Research Institute, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing* 100081, *China;* 2. *Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing* 100193, *China*）

Abstract: This study was conducted to evaluate the effects of different particle sizes on feed processing quality and growth performance of broilers at different growth stages. Eight hundred and sixty four one-day-old white feather Arbor Acres (AA) broilers were randomly divided into 6 groups with 8 replicates per group and 18 boilers per replicate. The experiment lasted for 42 days consisting of early period (1 to 21 days of age) and later period (22 to 42 days of age) two periods. The diets of early period and later period were grinded by 1.5, 2.0 and 2.5 mm mesh size of screen, respectively, and 4 replicates were set per mesh size of screen. Three groups were set in early period, twenty four replicates were set in 1.5 mm group, sixteen replicates were set in 2.0 mm group, and eight replicates were set in 2.5 mm group. Six groups were set in later period, 1.5 mm group was divided into 3 equal groups, 2.0 mm group was divided into 2 equal groups, and 2.5 mm group was the same, eight replicates were set per group. The results showed as follows: 1) geometric mean particle size of feeds was increased with the increase of mesh size of screen, and geometric mean particle size in 2.5 mm group was significantly higher than that in 1.5 and 2.0 groups (P<0.05). Particle durability index (PDI), particle hardness and starch gelatinization degree were decreased with the increase of mesh size of screen, and PDI and particle hardness in 1.5 mm group were significantly higher than those in 2.0 and 2.5 groups (P<0.05). There was no significant difference in crude protein digestibility *in vitro* of feeds among all group with the increase of mesh size of screen (P>0.05). 2) Average body weight at 21 days of age, average daily feed intake (ADFI) and average daily gain (ADG) in 2.0 mm group were the highest from 1 to 21

*Corresponding author, professor, E-mail: qinyuchang@caas.cn （责任编辑 李慧英）

days of age. Average body weight at 42 days of age and ADG in 2.0 mm in early period and 2.5 mm in later period group were the highest and the ratio of feed to gain was the lowest, and ADFI in 1.5 mm in early period and 2.5 mm in later period group was the highest from 22 to 42 days of age. The results show that growth performance in 2.0 mm in early period and 2.5 mm in later period group is the best. Thus, the diets are grinded by 2.0 mm mesh size of screen in early period and 2.5 mm mesh size of screen in later period to get the best growth performance of broilers.

Key words: particle size; broilers; feed processing quality; growth performance